

注水量と崩壊熱による蒸発量の比較

東北大学 流体科学研究所 圓山・小宮研究室

2011/04/29 作成

概要

これまでに原子炉及び使用済み燃料貯蔵プールに注水された水の量と崩壊熱により蒸発した水量の比較を行う。比較は単位時間(もしくは1日当たり)の流量と積算量の2種類について行う。実測値に関しては原子力安全・保安院 (http://www.nisa.meti.go.jp/earthquake_index.html) より公表されたデータを用いている。積算値に関しては、データが公表されていない部分もあり完全な総注水量にはなっていないことに注意頂きたい。また、崩壊熱により蒸発した水の量は HTC Rep. 1.4 のデータより算出している。

これらの、結果から種々の現象が説明できる。しかし、詳細なデータがないので推定の域を出ないことに留意いただきたい。

1号機原子炉

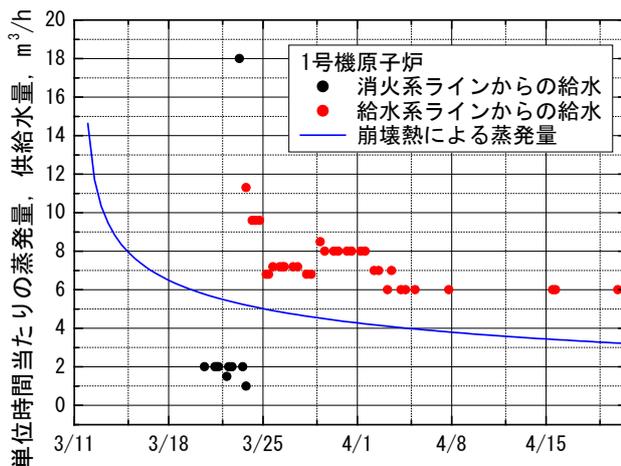


図 1 1号機原子炉への供給水量と蒸発量

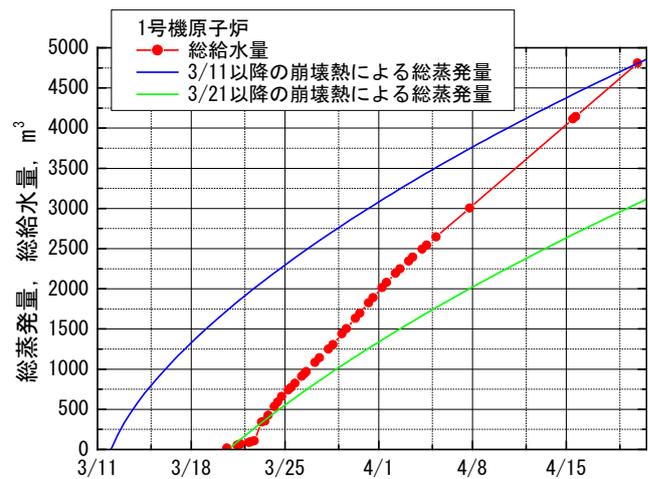


図 2 1号機原子炉への供給総水量と総蒸発量

図 1 は 1 号機原子炉への水の供給流量と崩壊熱による水の蒸発量を比較したものである。この結果から、注水量は崩壊熱による蒸発量よりも大きくなっており、水位維持だけではなく冷却効果も見込んだ注水量設定となっていることが伺える。図 2 は 1 号機原子炉へのこれまでの総注水量と総蒸発量の比較である。崩壊熱による蒸発量の線は 2 本描かれていて、1 本は 3/11 の原子炉停止からの総量、もう 1 本は給水量データが公表された後の総蒸発量となっている。この結果から 4 月 22 日あたりに総注水量が 3 月 11 日以降の総蒸発量を超える量に達していることがわかる。また、この結果からも注水は水位維持というよりは冷却効果を見込んでいる傾向が見て取れる。

一方で、4 月 23 日の毎日新聞の報道によると 1 号機の格納容器内で水位が上昇しているようである。(<http://mainichi.jp/photo/archive/news/2011/04/23/20110424k0000m040054000c.html>)

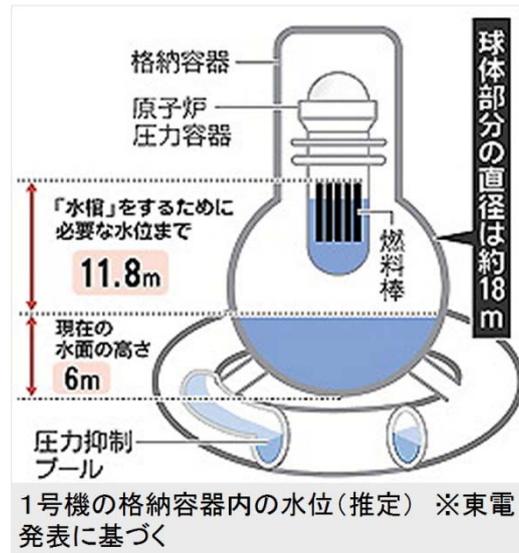


図3 4月23日の格納容器内水位

毎日新聞報道(<http://mainichi.jp/photo/archive/news/2011/04/23/20110424k0000m040054000c.html>)

図3に示される格納容器内の水の量を求める。半径を R 、水面の高さを H とし、回転体の体積を以下の式で計算する。

$$V = \pi \int_{R-H}^R \left[\sqrt{R^2 - x^2} \right]^2 dx = \pi \int_{R-H}^R (R^2 - x^2) dx = \pi \left\{ R^2 H - \frac{1}{3} \left[R^3 - (R-h)^3 \right] \right\} \quad (1)$$

上式より格納容器内の水は 792m^3 と算出された。一方、4月23日時点での3月21日以降に蒸発した水の量と供給量の差は 1928m^3 と算出された。ここ最近で注水した量に対して、蒸発量は小さいため、余分に投入した水量は格納容器内、圧力抑制室等に蓄積されていると考えられる。

もし、図3の水位データが正しければ、格納容器に溜まっている以外の水 1136m^3 は、サプレッションチャンバー (SC) に流れ込んでいることになる。そのことは、炉心の水が SC に流入していることになる。しかし、SCの放射線強度は格納容器 (DW) より1桁低いので、漏洩水とすでに SC にあった水と放射線強度の関係を定量的に説明する必要がある。

蒸発量と供給量の差の計算においては、基準にする日付(ここでは3月21日)により差が出てしまう。これ以前の注入水データがあれば、もっと正確な推定が出来ると思われる。また、ごく最近の投入水量の増加は考慮していない。圧力抑制室球体部分の堆積は約 3000m^3 なので、サプレッションチャンバー内への漏れがないと仮定すると、水は球体の半分以上を占めていることになる。

2号機原子炉

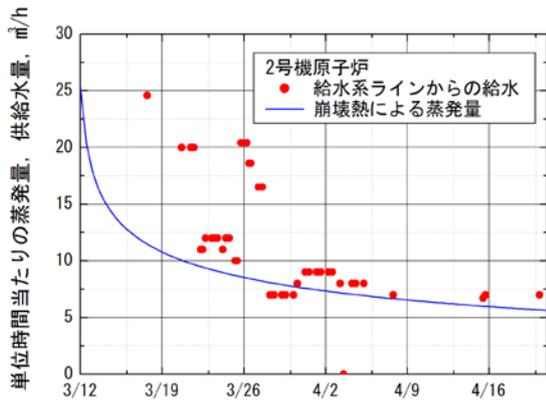


図 3 2号機原子炉への供給水量と蒸発量

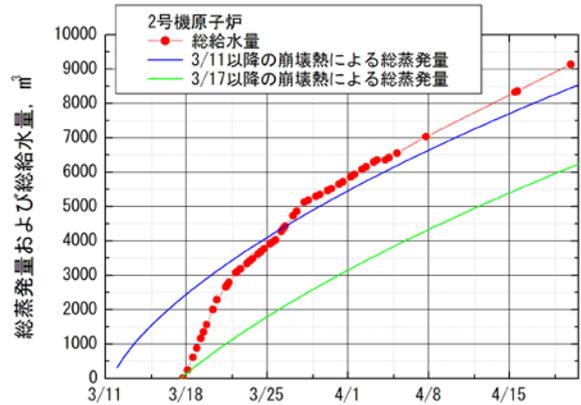


図 4 2号機原子炉への供給総水量と総蒸発量

2号機については、図3より、最近の注水量は崩壊熱から予測される蒸発量とほぼ一致している。しかし、初期の投入量が多く、図4に示すように、積算量については約3000m³超過しているが、3月21日以降の総蒸発量とこれまでの総注水量がほぼ一致しており、水位が維持されていると考えることができる。

約3000m³の超過分はSCを介して原子炉建屋地下に溜まり、それがタービン建屋地下に漏出していることが推定される。投入水量が若干多いのでその分タービン建屋への漏出が続いていると考えられる。炉心の水は高度に放射化しているので、タービン建屋の放射線量が上昇していることが推定される。

3号機原子炉

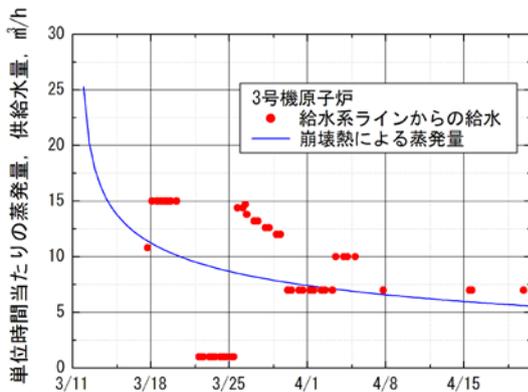


図 5 3号機原子炉への供給水量と蒸発量

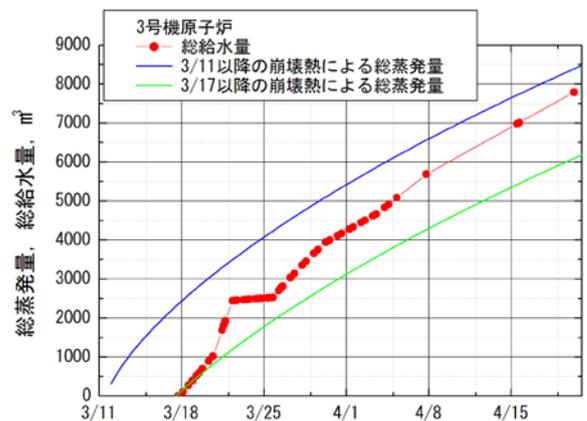


図 6 3号機原子炉への供給総水量と総蒸発量

3号機についても、2号機同様に原子炉への注水は崩壊熱の蒸発量とほぼ一致しており、水位の維持が期待できる。初期の投入水量が2号機ほど多くなかったため余剰の投入水は約2000m³である。この水も同様にタービン建屋に漏洩していると考えられるが、その量は2号機より少ない。

原子力安全保安院がIAEAに提出したレポート(4月4日付)によると、3月26日付けのタービン建屋地下汚染水の放射線強度は、1号機60mSv/h、2号機>1000mSv/h、3号機750mSv/hであった。2号機は3

月 26 日時点で 2000m^3 余剰であり、これがタービン建屋に漏れているが、3 号機は 600m^3 程度であることから、余剰水とタービン建屋の放射線強度が関連していると考えられる。現在は 3 号機のタービン建屋汚染水の放射能も増大しているのではないかと危惧される。なお、初期には各建屋とも約 2 万トンの海水があったと想定されるので、2 号機の原子炉建屋地下污水は、タービン建屋の少なくとも 10 倍の汚染濃度であることが予想される。

1 号機使用済み燃料貯蔵プール

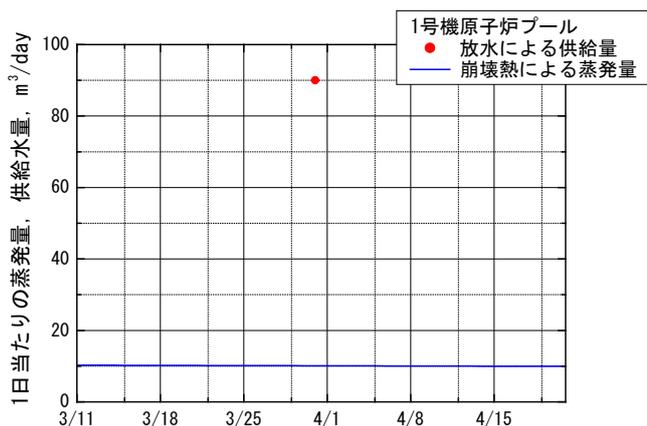


図 7 1 号機使用済み燃料貯蔵プールへの供給水量と蒸発量

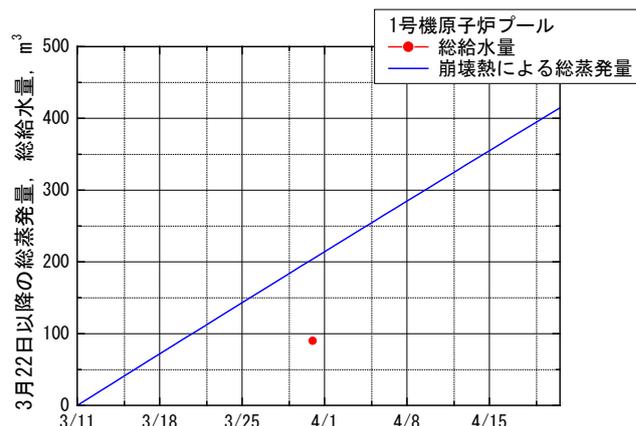


図 8 1 号機使用済み燃料貯蔵プールへの供給総水量と総蒸発量

使用済み燃料貯蔵プールの寸法は 2~4 号機では公開されており $9.9\text{m} \times 12.8\text{m} \times 11.8\text{m}$ で体積 1425m^3 となっている。一方、1 号機は体積が 1020m^3 となっているが、具体的な寸法は公表されていない。よって、縦横比が各プール等しいとすると、1 号機は $8.86\text{m} \times 11.45\text{m} \times 10.56\text{m}$ と予測した。

報道で明らかになっている放水量は 1 点のみであるため、上のようなグラフになっている。もしも、放水がこの 1 回のみであるとすれば、4 月 21 日現在で差し引き約 300m^3 の水が蒸発している。この時の水位の低下量は 3m 程度であると推測できる。

2号機使用済み燃料貯蔵プール

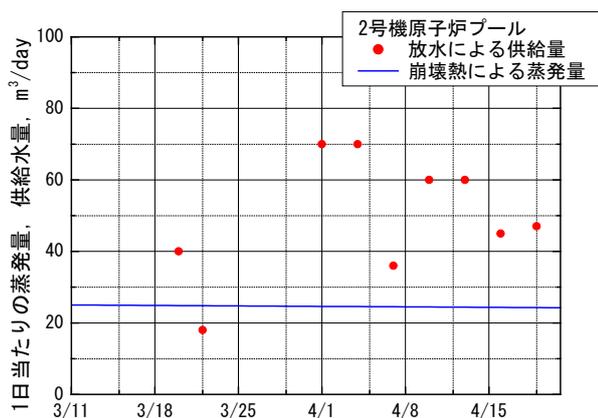


図 9 2号機使用済み燃料貯蔵プールへの供給水量と蒸発量

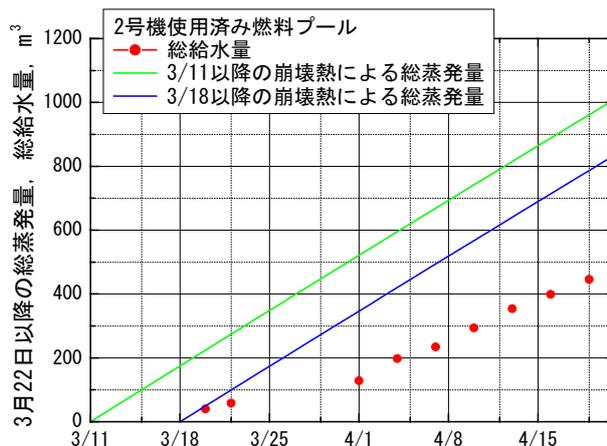


図 10 2号機使用済み燃料貯蔵プールへの供給総水量と総蒸発量

2号機使用済み燃料貯蔵プールへの放水量は、1日当たりの蒸発量よりは大きな放水量となっているが、積算値を見てみると蒸発量よりも低い値となっている。4月19日時点で、3月11日以降の蒸発量から放水量を差し引いた量は518m³となっている。つまり、4mの水位低下が予想される。

3号機使用済み燃料貯蔵プール

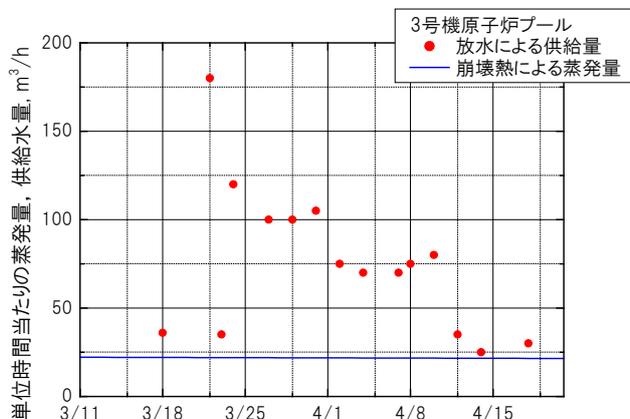


図 11 3号機使用済み燃料貯蔵プールへの供給水量と蒸発量

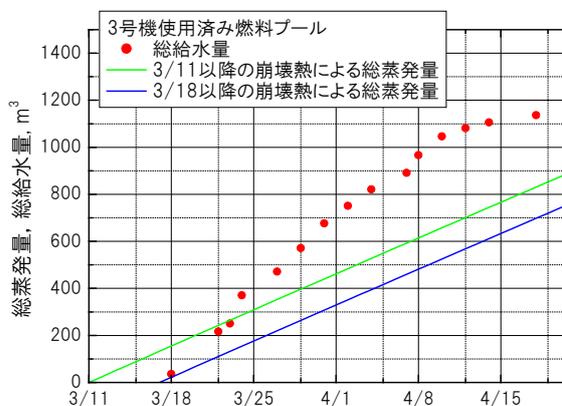


図 12 3号機使用済み燃料貯蔵プールへの供給総水量と総蒸発量

3号機の使用済み燃料貯蔵プールに関しては、1および2号機とは異なり蒸発量よりかなり多い量の水を放水している。図12に示している積算量に関しても総放水量が蒸発量を大きく上回っている。仮に、放水した水が全てプール内に入ったと仮定すると余分に投入した水量は約300m³となり、2m水位が上昇していると予想される。

4号機使用済み燃料貯蔵プール

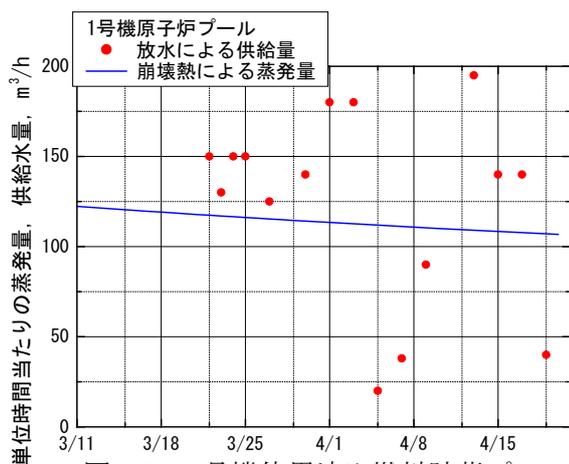


図 13 4号機使用済み燃料貯蔵プールへの供給水量と蒸発量

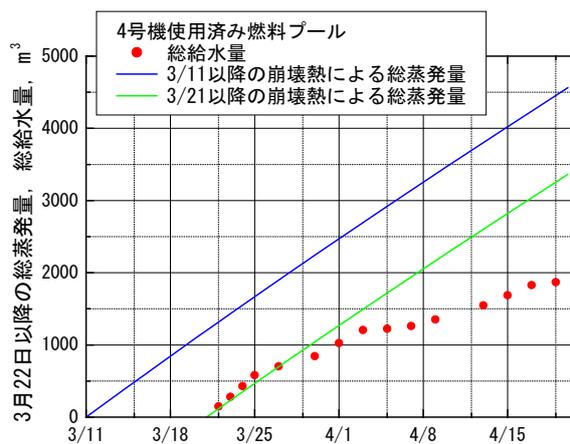


図 14 4号機使用済み燃料貯蔵プールへの供給総水量と総蒸発量

4号機のプール内には、炉心からの燃料棒があるため、他のプールと比較し大量の燃料棒が貯蔵されている。HTC Rep. 1.4 に示したようにこのプール内の発熱量を見積もるのは仮定に頼らざるを得ず、正確さにかけている。図 14 に示すように HTC Rep. 1.4 で予測した蒸発量に対し、現場で想定している発熱量は 70%程度に見積もっている可能性がある。図 14 を見ると初期の投入水量は我々が想定している発熱量相当分を投入しているが、最近の給水量は小さく、その差は 3月 21 以降の蒸発量と比較し 1400m³ 少なくなっている。この蒸発量では水位が 3月 21 日以降に 11m 低下したことになる。実際の水位低下とは比較していない。

これは、本計算では、現場で想定している発熱量より大きく見積もったための結果と考えられる。しかし、報道されているように、4号機使用済み燃料貯蔵プールの水位低下が起きて、余剰の水を投入した。この原因としてプールの破損が考えられている。

もし、冷却水投入初期は水面の移動を見ながら水量を調整し、後半は推定している発熱量に応じた水を投入していたのであれば、発熱量の推定が我々の値に近かった可能性がある。その場合、4号炉プールの破損は起こっておらず、水面低下は単に蒸発と投入水量のバランスがとれていなかったことによるものである可能性も考えられる。